

Matthias Burkhardt, Renate Fechner, Dieter Flamm, Frank Frost,
Andreas Nickel, Alexandre Gatto, Christian Laubis, Frank Scholze,
Stefan Sinzinger, Victor Soltwisch:

Streulichtarme holografische Blaze-Gitter für den EUV-Bereich

Zuerst erschienen in:

DGaO-Proceedings. - Erlangen-Nürnberg: Dt. Gesellschaft für
angewandte Optik, ISSN 1614-8436. - Bd. 115.2014, P19,
insg. 1 S.

URN: urn:nbn:de:0287-2014-P019-1

Streulichtarme holografische Blaze-Gitter für den EUV-Bereich



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU

M. Burkhardt¹, R. Fechner², D. Flamm², F. Frost², A. Nickel², A. Gatto¹, C. Laubis³,
F. Scholze³, S. Sinzinger⁴, V. Soltwisch³

¹Carl Zeiss Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena, Germany

²Leibniz -Institut für Oberflächenmodifizierung e.V., Permoserstr. 15, 04318 Leipzig, Germany

³Physikalisch-Technische Bundesanstalt, EUV Radiometry, Abbestr. 2-12, 10587 Berlin, Germany

⁴Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau, Postfach 100565, 98684 Ilmenau, Germany

mailto: matthias.burkhardt@zeiss.com

Die physikalisch-optischen Randbedingungen beim Einsatz von Beugungsgittern im Wellenlängen-Bereich um 13,5nm bedingen einen großen Einfallswinkel. Die gebeugte Strahlung hinter einem solchen Grazing-Incidence-Gitter wird dabei an einer wesentlich größeren Fläche umgelenkt, als dies bei üblichen Anwendungen in einem Wellenlängenbereich der Fall wäre, in dem sich Schichtmaterialien mit hohem Reflexionsgrad verwenden ließen. Deshalb wirken sich Abweichungen von der Ebenheit bzw. Sollform des Gittersubstrats wesentlich stärker aus. Durch das sehr große Verhältnis von Gitterperiode zu Wellenlänge ist die Form der Blaze-Facetten der dominierend effizienzbestimmende Faktor. Sehr ungünstig sind in diesem Zusammenhang schlecht definierte Blaze-Facetten sowie auch Oberflächendefekte und Rauigkeit.

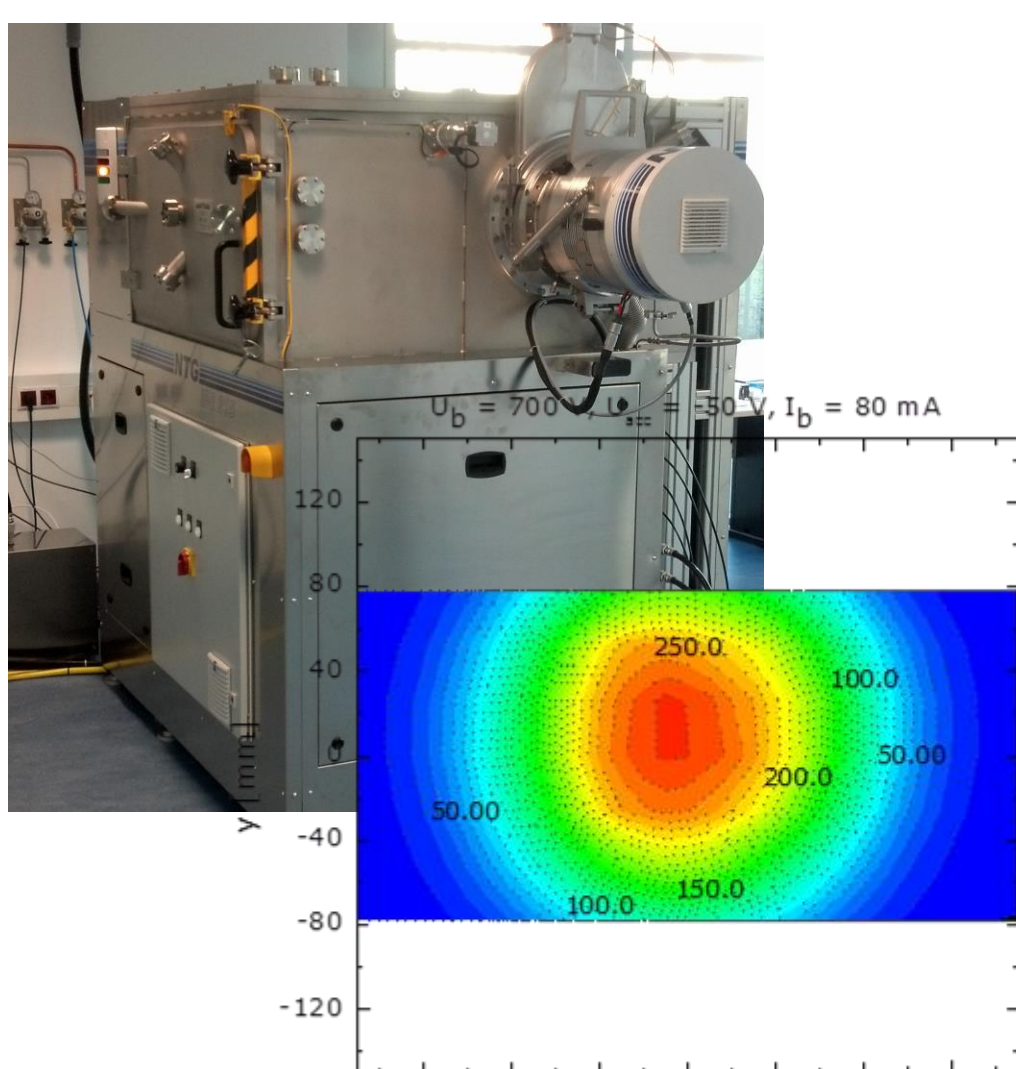
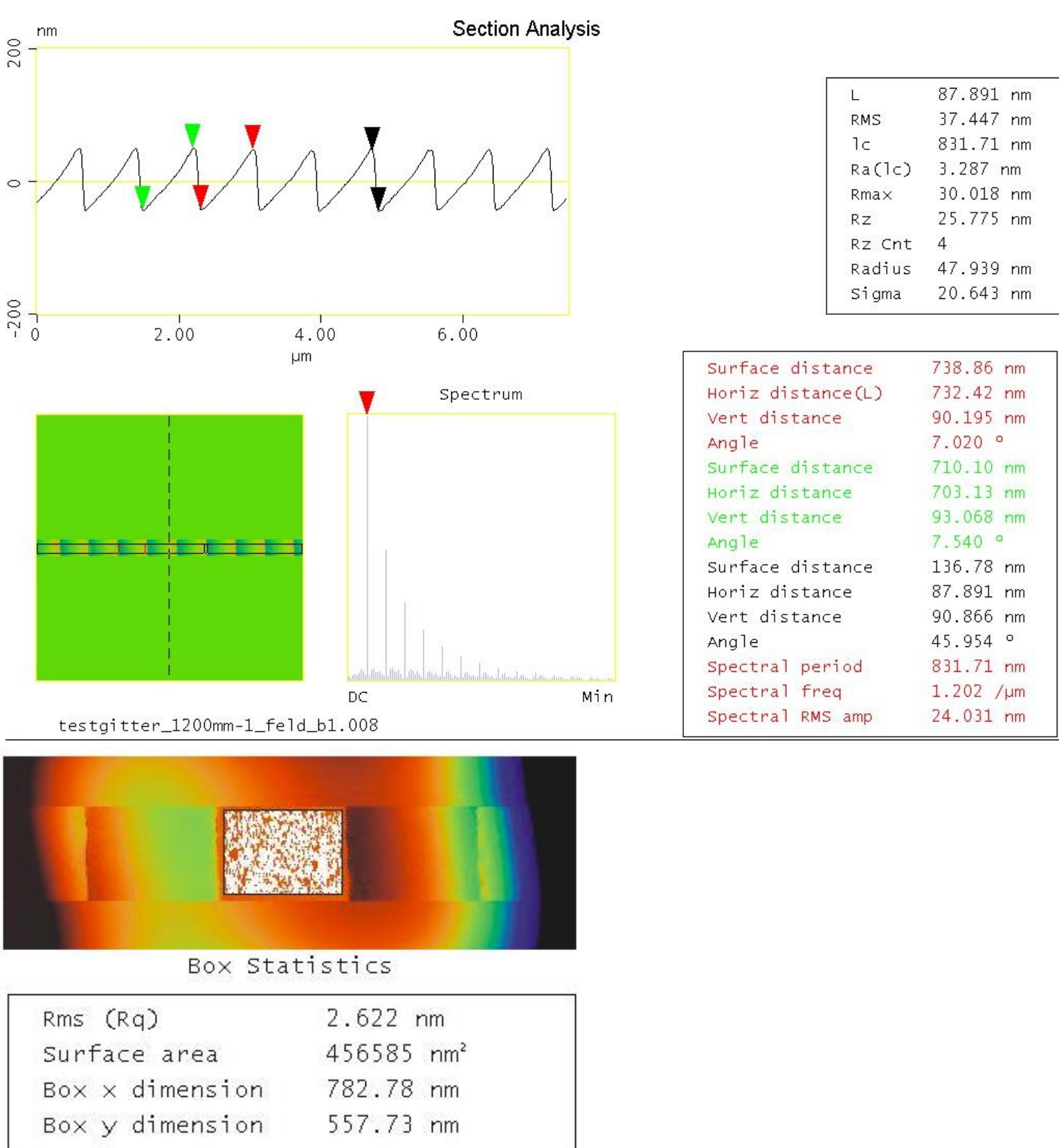
Wir zeigen, dass die Herstellung dieser anspruchsvollen Gitter basierend auf einem holografischen Mastering in Photoresist in Kombination mit einem RIBE-Transfer-Prozess zu geeigneten Blaze-Strukturen führt. *Projekt-Partner:* Zeiss: *Holografie*; IOM: *Reaktives Ionenstrahlätzen*; PTB: *Messungen bei Arbeitswellenlänge unter Nutzung von Synchrotron-Strahlung am Speicherring BESSY*; TUI: *Wissenschaftliche Grundlagen zur Holografie*

Vier mögliche Verfahren zur Herstellung blaze-artiger Gitterstrukturen für den EUV-Bereich:

- e-beam-geschriebene binäre Resistmaske in Kombination mit Ionenstrahlätzen unter großen Einfallswinkel (begrenzte Bearbeitungsfläche) [1; 3]
- e-beam-Resistmaske mit Blaze-Profil + Ionenstrahlätzen unter kleinem Winkel (wenig dokumentiert) [2]
- Mechanisches Teilen in Gold (ölfrei) + reaktives Ionenstrahlätzen (zur Reduktion der Blazewinkel) [3]
- Interferenzlithografische Herstellung einer Blaze-Struktur in Photoresist + reaktives Ionenstrahlätzen [4]

Referenzen:

- [1] Hui Lin and Lifeng Li, "Fabrication of extreme-ultraviolet blazed gratings by use of direct argon-oxygen ion-beam etching through a rectangular photoresist mask", APPLIED OPTICS, Vol. 47, No. 33, 20 November 2008
- [2] Hans Andersson, J. Romijn, and E. van der Drift, "Blazed x-ray reflection gratings fabricated by electron beam lithography", APPLIED OPTICS, Vol. 28, No. 20, 15 October 1989
- [3] B. Nelles, K.F. Heidemann, B. Kleemann, "Design, manufacturing and testing of gratings for synchrotron radiation", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 467-468 (2001) 260-266
- [4] M. Burkhardt, R. Fechner, L. Erdmann, F. Frost, R. Steiner, O. Sandfuchs, A. Schindler, A. Gatto, S. Sinzinger, Imaging gratings with modulated blaze - realized by a combination of holography and reactive ion beam etching, Paper Nr. A003, DGaO-Proceedings 2012, Eindhoven, Netherlands, 29.05.-02.06. (2012)

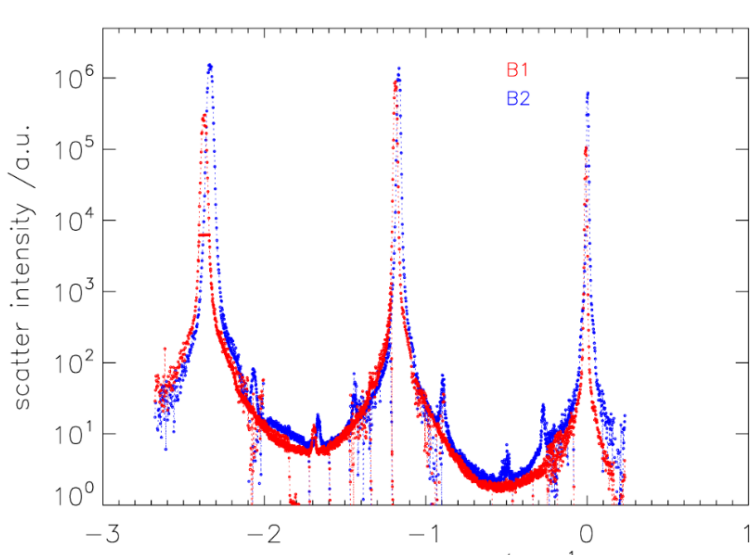


- Holografie:**
- Belichtung unter Verwendung von Optiken höchster Qualität ($WFR < \lambda/40$)
 - Optimieren des Arbeitspunktes zum Erreichen geringster Oberflächen-Rauigkeiten (< 3 nm rms Blaze-Facetten im AFM-Bereich, < 1 nm im Mikrointerferometer)
 - direkte Strukturierung auf massereichen Substraten höchster optischer Qualität (tang. Steigungsfehler $< 0,1^\circ$)

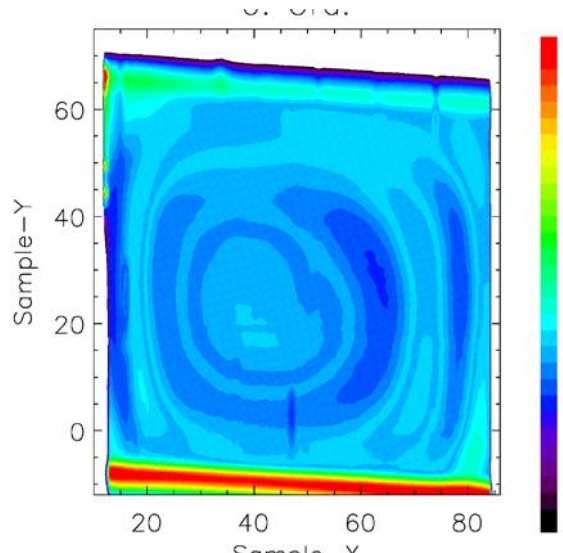
- Coating:**
- APS-Beschichtung mit geeigneten Metallen (Au, Ru)
 - Erhalt der geringen OF-Rauigkeitswerte

Reaktives Ionenstrahlätzen:

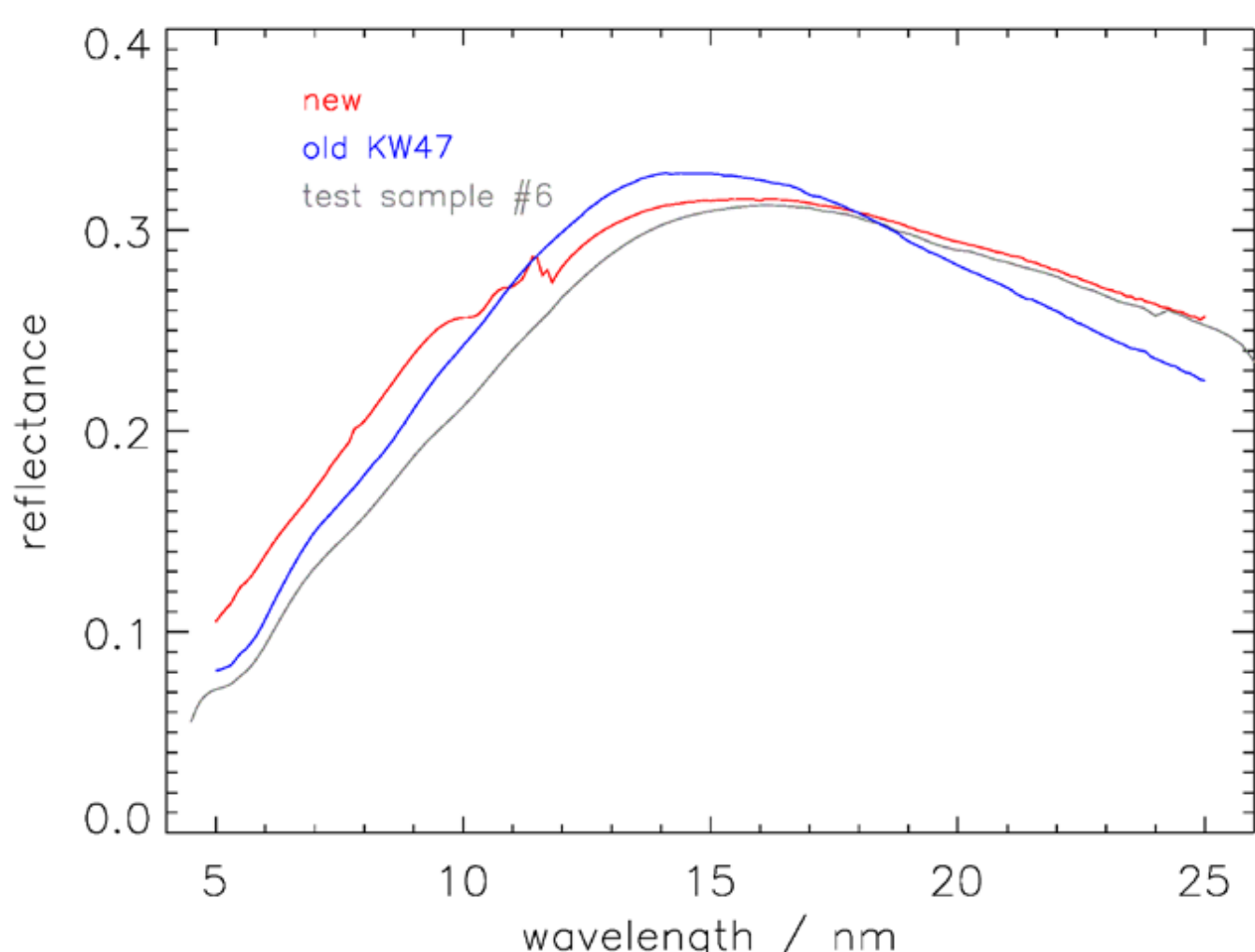
- homogener Abtrag durch Bewegungsfunktion (Rotieren + Verschiebung) – Abweichungen von einem mittleren Materialabtrag $< 1,5\%$ (Formerhalt der Substratoberfläche)
- Erzeugen der erforderlichen geringen Blaze-Winkel von 3 bis 4° durch eine Selektivität von ca. 0,3
- Reduktion der Rauigkeit auf ca. 1 nm rms auf Blaze-Facetten (AFM)



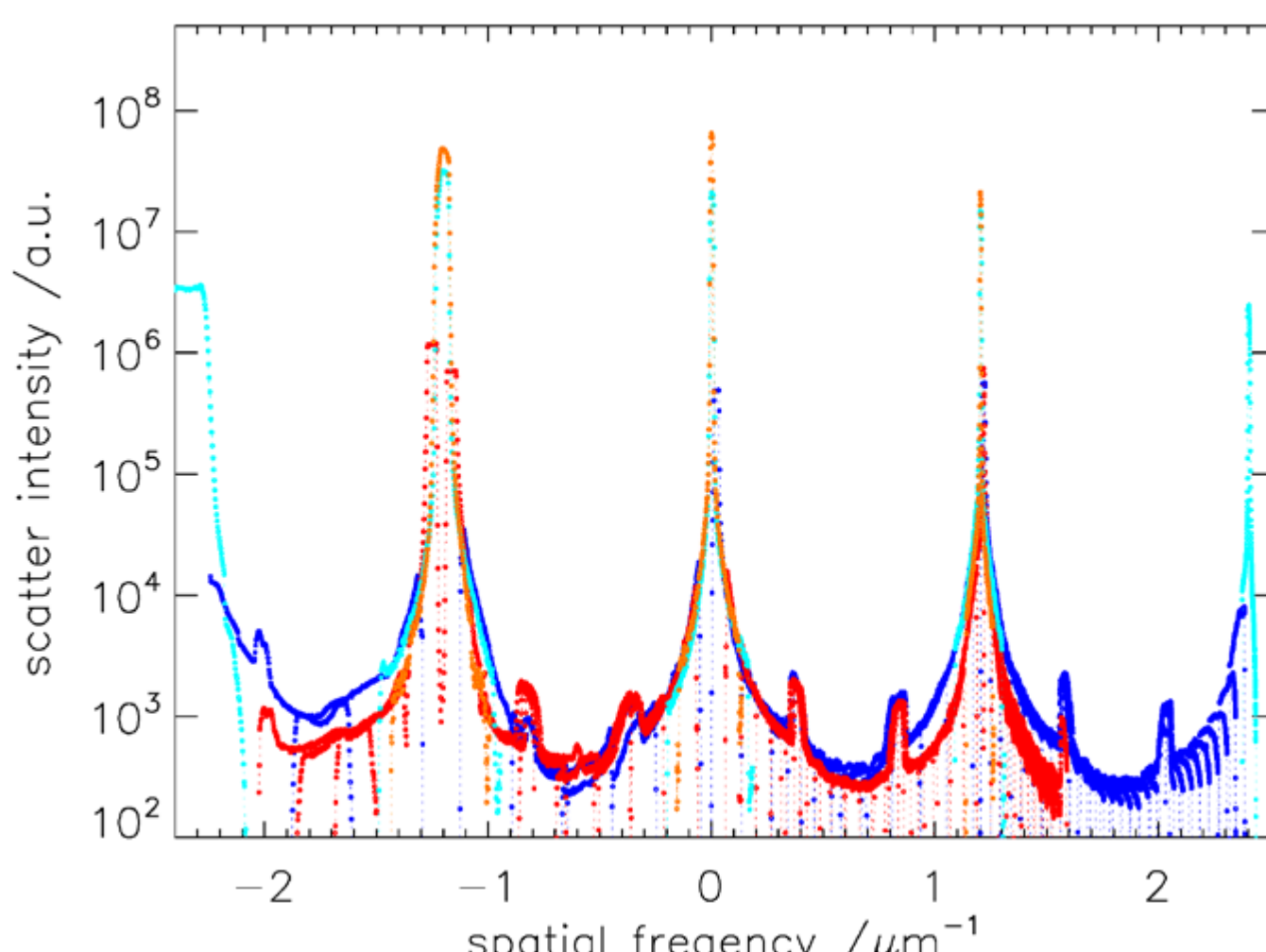
Messungen in KW10, 2014, am EUV Strahlrohr der PTB bei BESSY II durchgeführt



Politurqualität eines Substrates (Parallelität) schlägt leicht auf resultierendes Beugungsverhalten durch.



„Optisch dichte“ Beschichtung (graue und blaue Kurve) dünnere Ru-Schicht (rote Kurve) führt zu Effizienzsteigerung im unteren Wellenlängenbereich



Daten für das aktuelle Gitter bei Ablenkwinkel 167° gemessen bei 13.5 nm (rot und orange, für kurze / lange Integrationszeit) sowie 10 nm (blau und hellblau).

Zusammenfassung/Ausblick

Auf der Basis interferenzlithografisch erzeugter Photoresist-Gitter lassen sich in Kombination mit einem angepassten reaktiven Ionenstrahl-Ätzprozess EUV-Gitter hoher Qualität realisieren. Der Ätzprozess erfolgt nach optimaler Anpassung der Substrat-Bewegung in der Anlage formerhaltend. Eine Performance-Steigerung ließe sich durch weiteres Absenken der Oberflächenrauigkeit erreichen. In diesem Punkt sind die Grenzen dieser Prozesskette noch zu ermitteln und weitere Verbesserungen erstrebenswert. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch die Möglichkeit, die Qualität eines Resistgitters auch vor dem Ätzen direkt in der Beam Line zu testen. In höheren Beugungsordnungen liefert auch unbeschichteter Resist einen guten Reflexionsgrad und es lässt sich damit eine sehr ökonomische Vorauswahl verschiedener Belichtungs-Setups treffen.